

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 **Offenlegungsschrift**
①0 **DE 197 06 486 A 1**

②1 Aktenzeichen: 197 06 486.8
②2 Anmeldetag: 19. 2. 97
④3 Offenlegungstag: 20. 8. 98

⑤ Int. Cl.⁶:
G 01 N 33/26
G 01 N 11/00
G 01 N 9/36
G 01 N 25/00
G 01 N 27/04
G 01 N 27/22
H 03 H 9/145

DE 197 06 486 A 1

⑦1 Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦4 Vertreter:
Schoppe, F., Dipl.-Ing.Univ., Pat.-Anw., 81479
München

⑦2 Erfinder:
Leidl, Anton, Dipl.-Phys., 81739 München, DE

⑤6 Entgegenhaltungen:
DE 37 01 348 C2
EP 80 632 A1
Sensors and Actuators, 20 (1989), S. 253-268;
Chemical Abstracts, 1993, Vol. 18,
Zitat-Nr. 257072;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Vorrichtung und Verfahren zum Bestimmen des Alterungszustands flüssiger Medien

⑤7 Eine Vorrichtung zur Bestimmung des Alterungszustands eines flüssigen Mediums, insbesondere von Öl, ausgehend von einem Ausgangszustand desselben weist eine Einrichtung zum Erfassen von zumindest einem Zustandsparameter des flüssigen Mediums während einer ersten Periode, in der das flüssige Medium den Ausgangszustand aufweist, und während zumindest einer zweiten, zeitlich nachfolgenden Periode auf. Die Vorrichtung zur Bestimmung des Alterungszustands weist ferner eine Einrichtung zum Vergleichen der zumindest einen während der ersten Periode und der zumindest einen zweiten Periode erfaßten Zustandsparameter auf, wobei der Zustand des flüssigen Mediums nachfolgend durch eine Ermittlungseinrichtung auf der Grundlage des Vergleichs ermittelt wird.

DE 197 06 486 A 1

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Vorrichtungen und Verfahren zur Bestimmung des Alterungszustands flüssiger Medien, insbesondere zur Bestimmung und Überwachung des Alterungszustands von Öl.

Es ist bekannt, daß die Qualität von Ölen von einer Vielzahl von Faktoren abhängt. Diese Faktoren umfassen unter anderem die Gesamtbasenzahl, die Gesamtsäurezahl, den Additivabbau, den Eisengehalt, die Tragfähigkeit und dergleichen. Diese, die Qualität beispielsweise von Motor- und Getriebe-Ölen bestimmenden Faktoren können jedoch nur im Labor ermittelt werden. Eine kontinuierliche bzw. quasikontinuierliche Überwachung der Ölqualität erfolgt daher in den meisten technischen Systemen nicht.

Beispielsweise wird in Personenkraftwagen das Motoröl in der Regel alle 15 000 km gewechselt. Somit werden die Wartungszyklen nicht bedarfsgerecht ermittelt, sondern das Motoröl wird jeweils nach einer bestimmten Anzahl gefahrener Kilometer gewechselt.

Zur quasikontinuierlichen Überwachung des Ölzustands in technischen Systemen vor Ort werden vereinzelt beispielsweise die Laufzeit und die Öltemperatur erfaßt, wobei anhand von Modellen die Ölwechselintervalle bestimmt werden. Diese Methode ist jedoch mit vielen Unsicherheiten behaftet und sagt nichts über die tatsächlichen Eigenschaften des Öls aus.

Der vorliegenden Erfindung liegt ausgehend von dem genannten Stand der Technik die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Bestimmung des Alterungszustands eines flüssigen Mediums, insbesondere von Öl, zu schaffen, um ein bedarfsgerechtes Auswechseln des flüssigen Mediums, insbesondere des Öls, zu gewährleisten.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung gemäß Anspruch 1 und ein Verfahren gemäß Anspruch 12 gelöst. Eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Sensoreinrichtung zur Erfassung von Materialparametern eines flüssigen Mediums mit einem einfachen Aufbau zu schaffen.

Diese Aufgabe wird durch eine Sensoreinrichtung gemäß Anspruch 16 gelöst.

Die vorliegende Erfindung schafft eine Vorrichtung zur Bestimmung des Alterungszustands eines flüssigen Mediums, insbesondere von Öl, ausgehend von einem Ausgangszustand desselben, die folgende Merkmale aufweist: eine Einrichtung zum Erfassen von zumindest einem Zustandsparameter des flüssigen Mediums während einer ersten Periode, in der das flüssige Medium den Ausgangszustand aufweist, und während zumindest einer zweiten, zeitlich nachfolgenden Periode, eine Einrichtung zum Vergleichen der zumindest einen während der ersten Periode und der zumindest einen zweiten Periode erfaßten Zustandsparameter und eine Einrichtung zur Ermittlung des Zustands des flüssigen Mediums auf der Grundlage des Vergleichs.

Die vorliegende Erfindung schafft ferner ein Verfahren zur Bestimmung des Alterungszustands eines flüssigen Mediums, insbesondere von Öl, ausgehend von einem Ausgangszustand, bei dem zumindest ein Zustandsparameter des flüssigen Mediums während einer ersten Periode, in der das flüssige Medium den Ausgangszustand aufweist, erfaßt wird. Nachfolgend wird während einer zweiten, zeitlich nachfolgenden Periode der zumindest eine Zustandsparameter des flüssigen Mediums erfaßt. Die während der ersten Periode und während der zweiten, zeitlich nachfolgenden Periode erfaßten Zustandsparameter werden nachfolgend verglichen, wobei auf der Grundlage des Vergleichs der Alterungszustand des flüssigen Mediums ermittelt wird.

Gemäß der vorliegenden Erfindung werden vorzugsweise die Viskosität, die Viskoelastizität, die Dichte, die Dielektrizitätszahl und/oder die Leitfähigkeit des flüssigen Mediums ermittelt.

Bei bevorzugten Ausführungsbeispielen weist die Erfassungseinrichtung der vorliegenden Erfindung ferner einen Temperatursensor auf, um die Erfassung der jeweiligen Zustandsparameter während der unterschiedlichen Perioden bei jeweils zwei unterschiedlichen Temperaturen zu ermöglichen. Somit kann eine Temperaturabhängigkeit eines jeweiligen Zustandsparameters ermittelt werden. Ein Vergleich der Temperaturabhängigkeiten eines Zustandsparameters, die während der ersten Periode und der zweiten Periode erfaßt werden, kann dann zusätzlich zur Ermittlung des Alterungszustands des flüssigen Mediums herangezogen werden.

Zur Erfassung der Viskosität, bzw. der Viskoelastizität, eines flüssigen Mediums kann vorteilhaft ein Oberflächenwellensensor, der aus zumindest zwei Interdigitalwandlern besteht, verwendet werden. Ferner kann die Dielektrizitätszahl und/oder die Leitfähigkeit eines flüssigen Mediums vorzugsweise durch einen planaren Kondensator, dessen komplexe elektrische Impedanz von der Dielektrizitätszahl und der Leitfähigkeit des angrenzenden Mediums abhängt, ermittelt werden. Bei bevorzugten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung wird zu diesem Zweck ein planarer Interdigital-Kondensator verwendet.

Die vorliegende Erfindung eignet sich insbesondere zur Vorort-Bestimmung der Ölqualität eines Motors. Dazu müssen einfach und kostengünstig meßbare Ölparameter verwendet werden. Mit der Alterung von Ölen und zunehmender Verunreinigung durch Abrieb, Ruß, Wasser, usw., ändern sich auch die physikalischen Materialparameter des Öls, wie z. B. die Viskosität, die Viskoelastizität, die Dichte, die Dielektrizitätszahl und die Leitfähigkeit, die mit den Meßsignalen eines Ölqualitätssensors korreliert sind. Jedoch sagen die momentanen Absolutwerte dieser Parameter nichts über die Ölqualität aus, da diese Werte von Ölsorte zu Ölsorte eine starke Streuung zeigen. Folglich ist nur über die zeitliche Änderung dieser Materialdaten eine Aussage über den Öl-Alterungszustand möglich. Zur Bestimmung der Ölqualität, d. h. des Öl-Alterungszustandes, werden daher nicht die augenblicklichen Absolutwerte der oben genannten Zustandsparameter herangezogen, sondern vielmehr deren zeitliche Änderung.

Die Viskosität und die Viskoelastizität von Ölen ist stark temperaturabhängig. Diese Temperaturabhängigkeit beinhaltet Informationen über die Viskosität bzw. die Viskoelastizität, d. h. den Additivabbau, der Öle. Durchlaufen die Öle während des Betriebs eine Temperaturrampe, beispielsweise beim Start und nach dem Stop von Motoren, so werden für die Sensorsignale, die mit der Viskosität bzw. Viskoelastizität korreliert sind, aus dieser Temperaturrampe zusätzlich zu den Informationen, die bei einer festen Temperatur gewonnen werden, Informationen über die Änderungen der viskosen und viskoelastischen Öleigenschaften bei unterschiedlichen Temperaturen gewonnen. Aus einer derartigen temperaturabhängigen Änderung der Viskosität kann dann beispielsweise auf eine Verschlechterung der Tragfähigkeit des Öls geschlossen werden.

Die vorliegende Erfindung ermöglicht somit die kostengünstige Ermittlung des Alterungszustands eines flüssigen Mediums, beispielsweise eines Motoröls. Somit können gemäß der vorliegenden Erfindung die Ölwechselintervalle in technischen Systemen bedarfsgerecht ermittelt, die Lebensdauer kann erhöht und Ressourcen können geschont werden.

Gemäß einem weiteren Aspekt schafft die vorliegende Erfindung eine Sensoreinrichtung zur Erfassung von Materialparametern eines flüssigen Mediums, bestehend aus zwei Interdigitalwandlern zur Erzeugung einer elektroakustischen Welle von einem der Interdigitalwandler zu dem anderen der Interdigitalwandler, wobei die zwei Interdigitalwandler mit einer ersten Auswertungsschaltung zur Ermittlung der Viskosität, der Viskoelastizität und/oder der Dichte des flüssigen Mediums auf der Grundlage der ermittelten Resonanzfrequenz und der Dämpfung der elektroakustischen Welle verschaltet sind, und wobei einer der Interdigitalwandler mit einer zweiten Auswertungsschaltung zur Ermittlung der Dielektrizitätszahl und/oder der Leitfähigkeit des flüssigen Mediums auf der Grundlage der komplexen elektrischen Impedanz des Interdigitalwandlers verschaltet ist.

Eine derartige Sensoreinrichtung eignet sich vorzugsweise zur Erfassung von Zustandsparametern eines Motoröls. Mit einem solchen Ölqualitätssensor können die Dichte des Öls sowie viskose, viskoelastische und dielektrische Öleigenschaften vor Ort erfaßt werden. Werden diese Parameter zu unterschiedlichen Zeiten erfaßt, weisen die Änderungen der physikalischen Meßgrößen eine hohe Korrelation mit der Ölalterung auf. Somit können Aussagen über den tatsächlichen Ölzustand gemacht werden.

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend bezugnehmend auf die beiliegenden Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung; und

Fig. 2 ein Diagramm aufgenommener Sensorsignale über der Temperatur für Neuöl und verschiedene Altersstufen des Öls;

Fig. 3 mittels eines Interdigital-Kondensators aufgenommene dielektrische Eigenschaften eines Öls zu unterschiedlichen Altersstufen desselben;

Fig. 4 eine schematische Darstellung zur Erläuterung der erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung.

Die vorliegende Erfindung wird im folgenden anhand einer Vorrichtung zur Bestimmung des Alterungszustandes eines Motoröls näher erläutert. Es ist jedoch offensichtlich, daß die vorliegende Erfindung ferner zur Bestimmung des Alterungszustands anderer flüssiger Medien verwendet werden kann, deren physikalische Materialparameter sich mit der Alterung, beispielsweise durch zunehmende Verunreinigung, ändern.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung zur Erfassung der viskosen und viskoelastischen Eigenschaften sowie der Dichte eines Öls und ferner zur Erfassung der dielektrischen Öleigenschaften.

Wie in Fig. 1 gezeigt ist, sind auf einem dielektrischen Substrat 10, beispielsweise einem Quarzsubstrat, zwei Interdigitalwandler 12 und 14 angeordnet. Die zwei Interdigitalwandler 12 und 14 bilden einen Oberflächenwellensensor (OFW-Sensor) in Form einer Verzögerungsleitung. Ebenso kann ein Resonator oder ein Plattenmoden-Sensor verwendet werden. Die Interdigitalwandler 12 und 14 bestehen aus kammförmigen Elektroden, die beispielsweise in Dünnschichttechnologie auf das piezoelektrische Substrat 10 aufgebracht sind. Über eine hochfrequente elektrische Wechselspannung, die an einen ersten Schaltungseingang 16 angelegt wird, werden mit dem Interdigitalwandler 12 elektroakustische Wellen angeregt, die mittels des Interdigitalwandlers 14 über einen ersten Schaltungsausgang 18 detektiert werden. Die Resonanzfrequenz und die Dämpfung werden durch das Material des Substrats 10, das Material der Kammelektroden, das beispielsweise Gold sein kann, durch das geometrische Layout der Kammelektroden und eine an das Sensorbauelement angrenzende Flüssigkeit bestimmt, wie später bezugnehmend auf Fig. 4 näher erläutert wird.

Änderungen der viskosen und viskoelastischen Eigenschaften sowie der Dichte der Öle ändern die Resonanzfrequenz und die Dämpfung der elektroakustischen Welle zwischen den Interdigitalwandlern 12 und 14. Diese Resonanzfrequenz- und/oder Dämpfungs-Änderung kann elektronisch beispielsweise in einer Oszillator- oder Resonator-Anordnung mit dem OFW-Sensor als frequenzbestimmendes Glied ausgewertet werden. Wie in Fig. 1 dargestellt ist, ist die erste Kammelektrode des Interdigitalwandlers 12, der als Senderwandler dient, mit dem ersten Schaltungseingang 16 elektrisch gekoppelt. Die zweite Kammelektrode des Interdigitalwandlers 12 liegt auf Masse. Die erste Kammelektrode des Interdigitalwandlers 14 liegt ebenfalls auf Masse. Die zweite Kammelektrode des Interdigitalwandlers 14 ist mit dem ersten Schaltungsausgang 18 gekoppelt.

Zur Erfassung der dielektrischen Öleigenschaften wird gemäß einem bevorzugten Ausführungsbeispiel ein Interdigitalwandler des OFW-Sensors, bei dem in Fig. 1 gezeigten Ausführungsbeispiel der Interdigitalwandler 12, als planarer Kondensator, Interdigitalkondensator IDK, verwendet. Dazu ist die erste Kammelektrode des Interdigitalkondensators 12 ferner mit einem zweiten Schaltungseingang 20 verbunden. Über diesen Schaltungseingang 20 kann die komplexe elektrische Impedanz des durch den Interdigitalwandler 12 gebildeten Kondensators erfaßt werden.

Die komplexe elektrische Impedanz dieses Kondensators hängt von der Dielektrizitätszahl und der Leitfähigkeit des angrenzenden Mediums ab. Bei Motorölen, $\epsilon \approx 2-4$, wird die Dielektrizitätszahl z. B. durch Wassereintrag, $\epsilon \approx 80$, der beispielsweise durch einen Kühlwassereinbruch in das Öl auftreten kann, deutlich verändert. Ein Benzineintrag, $\epsilon \approx 2-4$ beeinflusst dagegen die Dielektrizitätszahl kaum, wobei ein Benzineintrag aber die Viskosität stark beeinflusst, so daß dies durch den oben beschriebenen, durch die beiden Interdigitalwandler 12 und 14 gebildeten OFW-Sensor erfaßt werden kann. Der Basen- bzw. Säuregehalt des Öls (TBN bzw. TAN) sind unter anderem für die Korrosion des Motors verantwortlich. Dieselben beeinflussen die Leitfähigkeit des Öls und können über die komplexe elektrische Impedanz des Interdigitalwandlers 12 erfaßt werden.

Der Oberflächenwellensensor, der gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet wird, kann beispielsweise auf einem 36°-rotierten Quarz-Substrat 10 in Dünnschichttechnologie gefertigt sein. Die zwei Interdigitalwandler 12 und 14, die als Senderwandler bzw. Empfängerwandler von elektroakustischen Wellen dienen, sind derart angeordnet, daß Oberflächenschwerwellen angeregt werden und können beispielsweise aus 130 doppelten (double-split) Goldelektrodenpaaren mit einer Metallisierungshöhe von 350 nm und einer Strukturbreite von 9 µm bestehen. Damit ergibt sich eine Resonanzfre-

quenz von etwa 70 MHz. Bei bevorzugten Ausführungsbeispiel beträgt die Nutenüberlappung 2,376 mm.

Die Resonanzfrequenz und die Dämpfung des Oberflächenwellensensors werden vorzugsweise mit einer Oszillatorschaltung, die über den ersten Schaltungseingang 16 und den ersten Schaltungsausgang 18 verschaltet ist, ausgewertet. Die elektrische Impedanz des Interdigitalwandlers 12 wird ebenfalls vorzugsweise über eine Oszillatoranordnung, die über den zweiten Schaltungseingang 20 verschaltet ist, ausgewertet.

Vorzugsweise erfolgt die Auswertung der komplexen Impedanz dieses Kondensators, der durch den Interdigitalwandler 12 gebildet ist, bei einer Frequenz unter- bzw. oberhalb der Resonanzfrequenz des Oberflächenwellensensors und ist somit unabhängig von der Anregung der elektroakustischen Welle. Für die Beurteilung der Ölqualität wird der Real- und/oder der Imaginär-Teil der Impedanz des Kondensators herangezogen, um Aussagen über die Dielektrizitätszahl und/oder die Leitfähigkeit des Öls zu erhalten. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel kann die Frequenz, bei der die elektrische Impedanz des Interdigitalwandlers 12 bestimmt wird, unterhalb von 100 kHz liegen. Zur Entkopplung der Hochfrequenz, d. h. der Resonanzfrequenz des Oberflächenwellensensors, und der Niederfrequenz, d. h. der Frequenz, bei der die elektrische Impedanz des Interdigitalwandlers 12 bestimmt wird, ist zwischen dem ersten Schaltungseingang 16 und der ersten Kammelektrode des Interdigitalwandlers 12 vorzugsweise ein Hochpaß 22 angeordnet, während zwischen dem zweiten Schaltungseingang 20 und der ersten Kammelektrode des Interdigitalwandlers 12 vorzugsweise ein Tiefpaß 24 angeordnet ist. Der Hochpaß 22 kann beispielsweise durch einen Kondensator mit geeigneter Kapazität gebildet sein, während der Tiefpaß 24 durch eine Spule mit geeigneter Induktivität gebildet sein kann.

Die Oszillatorschaltung des Oberflächenwellensensors, die mit dem ersten Schaltungseingang 16 und dem zweiten Schaltungsausgang 18 verbunden ist, kann eine Amplitudenregelung aufweisen, die derart ausgestaltet ist, daß das Regelsignal derselben ein Maß für die Bedämpfung der Oberflächenwelle und somit die Viskosität des Öles ist. Die Ausbildung derartiger Regelschaltungen ist in der Technik bekannt. Durch die Entkopplung der Auswertungsschaltungen für die elektrische Impedanz des einen Interdigitalkondensators 12 und der Auswertungsschaltung für den Oberflächenwellensensor, der durch beide Interdigitalwandler 12 und 14 gebildet ist, mittels Hoch- bzw. Tief-Pässen kann eine parallele Auswertung sowohl der dielektrischen als auch der viskosen und viskoelastischen Eigenschaften sowie der Dichte des Öls durchgeführt werden.

Zum mechanischen und chemischen Schutz der Sensoroberfläche, d. h. der Interdigitalwandler, kann das Bauelement bei bevorzugten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung beispielsweise mit Silizium-Karbid (SiC) beschichtet sein. Die Beschichtung mit Silizium-Karbid kann in Dünnschichttechnologie erfolgen und bietet einen ausgezeichneten chemischen und mechanischen Schutz.

Die erfindungsgemäße Sensoreinrichtung zur Erfassung von Materialparametern eines flüssigen Mediums, insbesondere von Öl, weist ferner vorzugsweise einen Temperatursensor auf.

Gemäß der vorliegenden Erfindung wird nun beispielsweise mittels der oben beschriebenen Sensoreinrichtung die zeitliche Änderung der Materialparameter des Öls erfaßt, indem diese Parameter während einer ersten Periode, in der das Öl einen Ausgangszustand aufweist, und während einer zweiten Periode, die zeitlich von der ersten Periode beabstandet ist, erfaßt werden. Die Erfassung während dieser beiden Perioden kann beispielsweise bei jeweils identischer Temperatur durchgeführt werden, wobei eine identische Temperatur durch die Verwendung des Temperatursensors gewährleistet werden kann. Ferner ist es möglich, jeweils während jeder Periode die Materialparameter bei zwei unterschiedlichen Temperaturen zu erfassen, um dadurch eine Temperaturabhängigkeit derselben zu erhalten. Die Änderung der Temperaturabhängigkeit zwischen der ersten Periode und der zweiten Periode kann dann zusätzlich verwendet werden, um Aussagen über den Alterungszustand des Öls zu treffen.

Fig. 2 zeigt ein Sensorsignal-Temperatur-Diagramm eines Oberflächenwellensensors. Dabei ist der Meßwert, d. h. die Amplitude der akustischen Oberflächenwelle des OFW-Sensors über dem Widerstand eines Temperaturfühlers, der ein Maß für die Temperatur ist, aufgetragen.

In dem Diagramm sind die erhaltenen Kurven bei der Erfassung der Materialparameter eines Kraftfahrzeug-Motoröls nach einer unterschiedlichen Betriebsdauer bzw. Fahrleistung des Kraftfahrzeugs dargestellt. Wie aus Fig. 2 zu erkennen ist, ändert sich der Meßwert des Oberflächenwellensensors ausgehend von einem Ausgangszustand, Neuöl, abhängig von der Fahrleistung, 3500 km bzw. 23 000 km, und der Betriebsdauer, 300 Stunden bzw. 400 Stunden, stark. Folglich ist im Diagramm für das Motoröl im Neuzustand und in verschiedenen Altersstufen desselben zu entnehmen, daß sich das Sensorsignal deutlich mit einer zunehmenden Ölalterung ändert. Die Meßwertänderung des Signals bei einer festen Temperatur, beispielsweise 40°C oder 100°C, entspricht der Viskositätsänderung des Öls. Das Temperaturverhalten, d. h. die Steigung der Kurven, hat sich bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel dagegen mit zunehmendem Ölalter nur geringfügig erhöht und indiziert einen geringen Abbau der Viskositätsindex-Verbesserer, d. h. nur einen geringfügigen Additivabbau.

Fig. 2 zeigt ein Diagramm, das die dielektrischen Eigenschaften, die beispielsweise mittels der bezugnehmend auf Fig. 1 beschriebenen Sensoreinrichtung erfaßt wurden, für das Öl bei den unterschiedlichen Alterungszuständen des Öls, wie sie auch in Fig. 2 gezeigt sind, darstellt. Die Kapazität wurde dabei mittels einer Oszillatorschaltung bei ca. 50 kHz ausgewertet. Bei dem in Fig. 3 dargestellten Diagramm entspricht eine Frequenzerniedrigung einer Kapazitätserhöhung und somit einer Erhöhung von ϵ , wie es für gealterte Öle die Regel ist.

Im folgenden wird bezugnehmend auf Fig. 4 eine bevorzugte Ausgestaltung des Oberflächenwellensensors, wie er gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet wird, näher erläutert. Fig. 4 zeigt das Prinzipsbild eines bei bevorzugten Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung verwendeten Oberflächenwellenbauelements.

Zunächst wird kurz eine allgemeine Beschreibung des in Fig. 4 dargestellten Oberflächenwellenbauelements gegeben. Auf einem piezoelektrischen Substrat 110, beispielsweise einem y-rotierten Quarz, sind kammförmige Elektroden 112, 114, 116 und 118 beispielsweise in Dünnschichttechnologie aufgebracht. Die Elektroden 112 und 114 bilden einen ersten Interdigitalwandler 120, den sogenannten Sender-Interdigitalwandler (Sender-IDT), während die Elektroden 116 und 118 einen zweiten Interdigitalwandler 122, den sogenannten Empfänger-Interdigitalwandler (Empfänger-IDT), bilden. Das Substrat kann aus einem beliebigen Piezoelektrikum bestehen, das zur Anregung von Scherwellen geeignet ist. Vorzugsweise wird ein y-rotierter Quarz mit einem Quarzschnitt zwischen 35° und 40° verwendet.

Durch das Anlegen einer hochfrequenten Wechselspannung an den Sender-IDT 120 werden aufgrund der Piezoelektrizität des Materials des Substrats 110 elektroakustische Wellen, die in Fig. 4 schematisch durch die mit dem Bezugszeichen 124 bezeichneten Pfeile dargestellt sind, angeregt. Der Abstand zwischen den Fingern der Interdigitalwandler prägt eine Wellenlänge λ ein, wobei über die materialabhängige Ausbreitungsgeschwindigkeit v der Welle die Anregungsfrequenz $f = v/\lambda$ festgelegt wird.

Wie in Fig. 4 dargestellt ist, werden zur Unterdrückung der Reflexion an den Fingern vorzugsweise sogenannte Doppelfingerwandler (double-split transducer) verwendet. Bei diesen Wandlern sind jeweils zwei Finger einer Elektrode nebeneinander angeordnet und bilden mit zwei Fingern der anderen Elektrode des Interdigitalwandlers, die neben dem Fingerpaar der ersten Elektrode angeordnet sind, ein Fingerquartett. Mit dem Bezugszeichen 126 ist ein Fingerpaar der Elektrode 116 bezeichnet. Wie in Fig. 4 ferner gezeigt ist, ist die Breite eines Fingers mit b bezeichnet, während der Abstand zwischen zwei benachbarten Fingern mit a bezeichnet ist. Die Länge des Überlappungsbereichs der Finger zweier gegenüberliegender Elektroden ist mit c bezeichnet. Die Wellenlänge λ entspricht, wie in Fig. 4 dargestellt ist, der Länge eines Fingerquartetts, d. h. viermal der Breite eines Fingers plus viermal der Breite eines Fingers plus viermal der Länge eines Fingerquartetts, d. h. viermal der Breite eines Fingers plus viermal der Länge eines Fingerquartetts.

Bei einer geeigneten Wahl des Substratmaterials und der Oberflächenorientierung läuft eine von dem Sender-IDT angeregte Welle entlang dieser Oberfläche und generiert im Empfänger-IDT eine hochfrequente Wechselspannung, die elektronisch ausgewertet werden kann. Änderungen der physikalischen Randbedingungen entlang der Bauelementoberfläche durch Flüssigkeiten oder Beschichtungen beeinflussen die Ausbreitungsgeschwindigkeit, d. h. die Frequenz, und die Amplitude der Wellen und können als Sensoreffekt genutzt werden.

Im folgenden wird erläutert, wie das oben beschriebene Oberflächenwellenbauelement mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Flüssigkeitseigenschaften und geringen entwurfsbedingten Störeinflüssen als Flüssigkeitssensor und somit als Sensoreinrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann.

Die relative Frequenzänderung einer Oberflächenwelle als Meßeffect bei Oberflächenwellensensoren berechnet sich bei einer Belastung der Sensoroberfläche mit einer Newtonschen Flüssigkeit wie folgt:

$$\frac{\Delta f}{f} = c \cdot \sqrt{\frac{\eta \cdot \rho}{f}}$$

wobei c eine Proportionalitätskonstante ist, η die Viskosität der Newtonschen Flüssigkeit ist, ρ die Dichte der Newtonschen Flüssigkeit ist, und f die Frequenz ist. Die Eindringtiefe der Welle in die Flüssigkeit ist proportional zu $\sqrt{(2 \cdot \eta / \rho \cdot f)}$ und steigt mit sinkender Frequenz, so daß Grenzflächeneffekte bei niedrigen Frequenzen eine geringere Rolle spielen. Neben einer Vergrößerung des effektiven Meßvolumens führt daher eine niedrige Frequenz zu verbesserten Sensoreigenschaften. Bevorzugterweise werden daher Frequenzen unter 100 MHz für Oberflächenwellen-Flüssigkeitssensoren verwendet.

Neben den Oberflächenwellen (OFSWs) können jedoch in y-rotierten Quarzen Volumenschwerwellen, beispielsweise die sogenannten "surface skimming bulk waves" (SSBW), angeregt werden, wie oben erwähnt wurde. Die Frequenzen der OFSWs und der SSBWs liegen sehr dicht beieinander.

In Analogie zu einem optischen Gitter, wird durch die Anzahl der Fingerquartetts der Interdigitalwandler eine Frequenzbandbreite festgelegt. Bei der üblichen Herstellung dieser Sensoren mit Aluminium als Elektrodenmaterial und der Verwendung von niedrigen Frequenzen, wie sie für die Messung der Viskosität nötig sind, überschneiden sich diese Frequenzbänder der OFSW und der SSBW, wobei beide Moden gleichzeitig angeregt werden. Aufgrund des Sensoreffekts ändert sich die Geschwindigkeit und die Dämpfung der OFSW (Oberflächenwellen). Die Geschwindigkeit und die Dämpfung der SSBWs ändert sich jedoch nicht, bzw. nur sehr gering. Die Interferenz der unterschiedlichen Schwerwellen wird daher abhängig vom Sensoreffekt und stört empfindlich die Auswertung. Soll ein Oberflächenbauelement der oben beschriebenen Art als Flüssigkeitssensor verwendet werden, muß daher die gleichzeitige Anregung der Oberflächenwellen und der Volumenschwerwellen verhindert werden.

Um eine Interferenz der oben genannten Art zu verhindern, muß bewirkt werden, daß die OFSW und die SSBWs unterschiedliche Frequenzen aufweisen. Durch die physikalischen Eigenschaften der Metallisierung der IDTs werden die Randbedingungen an der Grenzfläche des Quarzsubstrats zu der Metallisierung der Elektroden festgelegt. Durch eine Änderung der physikalischen Eigenschaften der Metallisierung der IDTs kann somit beispielsweise die Geschwindigkeit und damit die Frequenz f der OFSW erniedrigt werden. Durch eine derartige Modifikation der physikalischen Eigenschaften der Metallisierung wird die Anregungsfrequenz der SSBWs nicht oder zumindest sehr viel schwächer als die Frequenz der OFSW beeinflusst. Durch ein gezieltes Einstellen der Bandbreite der OFSW über die Fingerzahl der Interdigitalwandler und durch eine Erhöhung des Frequenzabstandes der OFSW von den SSBWs durch eine entsprechende Metallisierung kann erreicht werden, daß das Anregungsband der SSBWs außerhalb des Frequenzbands der OFSW liegt. Somit ist eine Anregung der SSBWs verhindert und eine Interferenz zwischen der OFSW und den SSBWs tritt nicht mehr auf.

Die relative Frequenzänderung der OFSW aufgrund des Elektrodenmaterials läßt sich näherungsweise nach folgender Formel berechnen:

$$\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_m = \frac{(2 \cdot \pi)^2}{2} \cdot \left(\frac{\gamma \cdot h \cdot \rho_m}{\lambda}\right)^2 \cdot \frac{1}{c_{66}^2} \cdot [v_c^2 - v_m^2]^2$$

wobei γ die Metallisierungsrate ($= b/(a+b)$, Breite/(Breite + Abstand), der Elektroden) ist, ρ_m die Dichte der Metallisierung ist, h die Schichthöhe der Metallisierung ist, λ die Wellenlänge ist, c_{66} die Schersteifigkeit von Quarz abhängig vom Schnittwinkel des Substrats ist, v_m die Schallgeschwindigkeit der Metallisierung ist, und v_c die Geschwindigkeit der SSBW abhängig vom Schnittwinkel des Substrats ist.

Die relative Bandbreite $(\Delta f/f)$, innerhalb der die Oberflächenschwelle angeregt werden kann, ist durch die Anzahl der Fingerquartette N bestimmt und läßt sich berechnen zu $(\Delta f/f)_N = 2/N$.

Damit die Interferenz zwischen der OFSW und den SSBWs verhindert werden kann, muß gelten:

$$\left(\frac{\Delta f}{f}\right)_N < \left(\frac{\Delta f}{f}\right)_m$$

Somit muß $N > 2 \cdot (f/\Delta f)_m$ sein.

Bei dem für die Filtertechnik üblicherweise verwendeten Aluminium als Elektrodenmaterial ergibt sich wegen der geringen Masse pro Flächeneinheit $\rho_m \cdot h \cdot \gamma$ und des geringen Unterschiedes der Schallgeschwindigkeiten zwischen Aluminium (v_m) und der SSBWs (v_c) bei einer Frequenz von ca. 50 MHz und einem y-rotierten Quarzschnitt von 36° eine Anzahl der Fingerquartette in der Größenordnung von 10^4 . Ein Filter mit einer derartigen Fingerzahl ist zur technischen Realisierung nicht geeignet.

Für niedrige Frequenzen, beispielsweise unter 100 MHz, muß daher entsprechend obiger Gleichung eine Metallisierung mit hoher Masse Pro Flächeneinheit und niedriger Schallgeschwindigkeit verwendet werden. Geeignete Materialien für die Metallisierung der Elektroden der Interdigitalwandler sind beispielsweise Gold, Platin oder Kupfer. Beispielsweise ergibt sich für Gold mit einer Schichthöhe h von 350 nm bei 65 MHz und einem y-rotierten Quarzschnitt von 36° eine Mindestanzahl von 75 Fingerquartetten.

Somit kann gemäß der vorliegenden Erfindung ein Oberflächenwellen-Flüssigkeitssensor mit einer hohen Empfindlichkeit gegenüber Flüssigkeitseigenschaften und geringen Störungen durch eine Interferenz der Oberflächenschwelle mit Volumenschwelle realisiert werden.

Ein weiteres Problem bei der Verwendung von Oberflächenwellenbauelementen als Flüssigkeitssensoren, das mittels eines vorteilhaften Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung gelöst werden kann, ist das Dreifachdurchlaufecho (TTE; TTE = Triple Transit Echo) und das elektromagnetische Übersprechen (EM).

Eine elektroakustische Welle, die in den Bereich des Empfänger-Interdigitalwandlers läuft, erzeugt an den Fingern, bzw. den Sammelschienen der Finger, über die angeschlossene elektrische Lastimpedanz eine Potentialdifferenz, die ihrerseits eine Oberflächenwelle generiert, die in die Richtung des Sender-Interdigitalwandlers zurückläuft und dort ebenfalls über die Generatorimpedanz eine Welle generiert, die in Richtung des Empfängers zurückläuft. Die durch diese Effekte an dem Empfänger-Interdigitalwandler ankommende, zweimal reflektierte Welle hat die Meßstrecke dreimal durchlaufen und somit die dreifache Phasenverschiebung wie die nichtreflektierte Welle erfahren. Dieser Effekt wird als Triple Transit Echo (TTE) bezeichnet. Dasselbe führt zu einer frequenzabhängigen, konstruktiven bzw. destruktiven Interferenz zwischen direktem Meßsignal und dem zweimal reflektierten Signal. Dadurch entsteht eine frequenzabhängige Welligkeit im Übertragungsverhalten des Oberflächenwellenbauelements, wobei die Amplitude der Welligkeit von der Übertragungsdämpfung (IL; IL = insertion loss) des Bauelements und der TTE-Unterdrückung abhängt. Bei der Auswertung des durch eine Flüssigkeit auf der Oberflächenschwelle erzeugten Sensoreffekts tritt das TTE als Störgröße auf. Der erzeugte Meßfehler hängt von der TTE-Unterdrückung, der Übertragungsdämpfung und der Größe des Meßeffektes ab.

Es ist offensichtlich, daß mit zunehmender Übertragungsdämpfung IL die TTE-Unterdrückung zunimmt. Näherungsweise gilt die Beziehung: $TTE[dB] = 2 \cdot IL[dB] + 12$ dB. Es ist somit für die Sensorik vorteilhaft, Oberflächenwellenbauelemente mit hohen Übertragungsdämpfungen von dem Sender-IDT zu dem Empfänger-IDT zu verwenden, um den Einfluß des TTE so gering wie möglich zu halten. Vorzugsweise sind Dämpfungen > 10 dB, noch vorteilhafter > 15 dB, geeignet.

Neben der TTE interferiert am Empfänger-Interdigitalwandler auch das direkte elektromagnetische Übersprechen zwischen dem Sender-IDT und dem Empfänger-IDT mit dem Signal der Oberflächenwelle und tritt in der Form einer frequenzabhängigen Welligkeit als Störgröße im Meßeffect auf. Die Amplitude dieser Welligkeit hängt vom Amplitudenverhältnis zwischen dem elektromagnetischen Übersprechen EM und der Übertragungsdämpfung IL ab. Je kleiner dieses Verhältnis ist, desto geringer ist der Einfluß des Übersprechens auf das Meßergebnis. Das elektromagnetische Übersprechen hängt vom Aufbau des Oberflächenwellenbauelements ab. In der Praxis kann eine Dämpfung des elektromagnetischen Übersprechens EM im Bereich von 50 bis 80 dB erreicht werden. Um den Einfluß des EM klein zu halten, muß also die Übertragungsdämpfung IL klein gehalten werden, d. h. es muß eine große Amplitude der Oberflächenwelle gewährleistet sein.

Wie aus dem vorhergehenden offensichtlich ist, existiert somit ein Konflikt zwischen der zur Unterdrückung des TTE erforderlichen hohen Übertragungsdämpfung und der zum Minimieren des Effekts des elektromagnetischen Übersprechens erforderlichen geringen Übertragungsdämpfung. Damit sich beide Effekte die Waage halten, muß folgende Gleichung gelten:

$$EM[dB] = IL[dB] + TTE[dB] = 3 \cdot IL[dB] + 12dB$$

Für die Übertragungsdämpfung ergibt sich somit:

$$IL[dB] = (EM[dB] - 12 dB) / 3$$

Je nach für ein bestimmtes Oberflächenbauelement erreichbarer Unterdrückung des elektromagnetischen Übersprechens ergibt sich damit ein Bereich von 10 dB bis 30 dB, vorzugsweise von 15 dB bis 25 dB, als Übertragungsdämpfung für Oberflächenwellensensoren.

Die Übertragungsdämpfung von Oberflächenwellen-Bauelementen hängt vom Quarzschnitt des verwendeten Substrats, von $(\Delta f/f)_m$, von der Anzahl und der Überlappungslänge c der Finger der IDTs (siehe Fig. 4) und von einer

elektrischen Anpassung an die Impedanz des angeschlossenen Meßgerätes ab. Diese Parameter müssen beim Entwurf des Oberflächenbauelements berücksichtigt werden, um eine entsprechende Übertragungsdämpfung, die den obigen Voraussetzungen genügt, zu erreichen.

Im folgenden werden anhand eines konkreten Ausführungsbeispiels exakte Parameter angegeben, die zur Realisierung eines erfindungsgemäßen Oberflächenwellen-Flüssigkeitssensors geeignet sind. Als Substrat ist ein y-rotierter Quarz mit einem Quarzschnitt von 36° verwendet. Als Metallisierung für die Elektroden der Interdigitalwandler ist Gold einer Schichthöhe h von 350 nm verwendet. Die Metallisierungsrate γ , d. h. das Verhältnis $b/(b+a)$, ist 0,5, d. h. 50%. Bei einer Anregungsfrequenz f von 65,6 MHz ergibt sich eine Wellenlänge λ von 76 μm . Die Anzahl der Fingerquartette bei einem sogenannten "double-split"-Wandler ist 90. Die Fingerüberlappung c beträgt 25 λ . Das derart dimensionierte Oberflächenwellenfilter weist eine Übertragungsdämpfung von 20 dB auf.

Die vorliegende Erfindung schafft somit Vorrichtungen und Verfahren zur Bestimmung des Alterungszustands eines flüssigen Mediums, insbesondere eines Motoröls, die die bedarfsgerechte Ermittlung von Ölwechselintervallen in vielen technischen Systemen ermöglichen, wodurch die Lebensdauer derselben erhöht und Ressourcen geschont werden können. Durch den einfachen Aufbau einer erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung zur Erfassung der benötigten Materialparameter kann die vorliegende Erfindung ferner kostengünstig realisiert werden. Die vorliegende Erfindung kann zur quasikontinuierlichen Überwachung der Ölalterung in vielen technischen Systemen, beispielsweise in Verbrennungsmotoren, Getrieben, Hydraulikanlagen und dergleichen vorteilhaft zur bedarfsgerechten Ermittlung der Wartungszyklen verwendet werden, wodurch eine Lebensdauererhöhung und eine Ressourcenschonung erreicht werden kann. Für Fachleute ist es offensichtlich, daß bei bestimmten Anwendungen die Erfassung der Änderung eines Zustandsparameters eines flüssigen Mediums ausreichen kann, während es bei einer Vielzahl von Anwendungen vorteilhaft ist, eine Mehrzahl der Parameter, wie z. B. der Viskosität, der Viskoelastizität, der Dichte, der Dielektrizitätszahl und der Leitfähigkeit, die alle mittels des bevorzugten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Sensoreinrichtung erfaßt werden können, aufzunehmen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Bestimmung des Alterungszustands eines flüssigen Mediums, insbesondere von Öl, ausgehend von einem Ausgangszustand desselben, mit folgenden Merkmalen:
einer Einrichtung zum Erfassen von zumindest einem Zustandsparameter des flüssigen Mediums während einer ersten Periode, in der das flüssige Medium den Ausgangszustand aufweist, und während zumindest einer zweiten, zeitlich nachfolgenden Periode;
einer Einrichtung zum Vergleichen der zumindest einen, während der ersten Periode und der zumindest einen zweiten Periode erfaßten Zustandsparameter; und
einer Einrichtung zur Ermittlung des Zustands des flüssigen Mediums auf der Grundlage des Vergleichs.
2. Vorrichtung gemäß Anspruch 1, bei der die Erfassungseinrichtung eine Vorrichtung zur Erfassung der Temperatur des flüssigen Mediums aufweist.
3. Vorrichtung gemäß Anspruch 2, bei der die Erfassungseinrichtung die zumindest einen Zustandsparameter während der ersten Periode und der zumindest einen zweiten Periode bei identischer Temperatur erfaßt.
4. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, bei der die Erfassungseinrichtung den zumindest einen Zustandsparameter während der ersten Periode und der zumindest einen zweiten Periode jeweils bei zumindest zwei unterschiedlichen Temperaturen erfaßt, wobei die Vorrichtung ferner eine Einrichtung zum Ermitteln einer Temperaturabhängigkeit, die der zumindest einen Zustandsparameter während der ersten Periode und der zumindest einen zweiten Periode besitzt, aufweist, wobei die Vergleichseinrichtung ferner die für einen Zustandsparameter ermittelten Temperaturabhängigkeiten vergleicht und die Zustandsermittlungseinrichtung den Alterungszustand des Mediums ferner auf der Grundlage des Temperaturabhängigkeitsvergleichs ermittelt.
5. Vorrichtung gemäß einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der die Erfassungseinrichtung Vorrichtungen zur Erfassung der Viskosität, der Viskoelastizität, der Dichte, der Dielektrizitätszahl und/oder der Leitfähigkeit des flüssigen Mediums aufweist.
6. Vorrichtung gemäß Anspruch 5, bei der die Vorrichtung zur Erfassung der Viskosität, der Viskoelastizität und/oder der Dichte des flüssigen Mediums ein Oberflächenwellensensor, bestehend aus zumindest zwei Interdigitalwandlern (12, 14) ist.
7. Vorrichtung gemäß Anspruch 6, bei der die Vorrichtung zur Erfassung der Dielektrizitätszahl und/oder der Leitfähigkeit des flüssigen Mediums durch einen Interdigitalwandler (12) des Oberflächenwellensensors gebildet ist, wobei die Dielektrizitätszahl und/oder die Leitfähigkeit des flüssigen Mediums auf der Basis der komplexen elektrischen Impedanz des Interdigitalwandlers (12) ermittelbar sind.
8. Vorrichtung gemäß Anspruch 6 oder 7, bei der der Oberflächenwellensensor mit einer ersten Oszillatorschaltung zur Ermittlung der Resonanzfrequenz und/oder der Dämpfung der durch den Oberflächenwellensensor erzeugten elektroakustischen Welle gekoppelt ist, wobei die Viskosität und/oder die Viskoelastizität und/oder die Dichte des flüssigen Mediums auf der Grundlage der ermittelten Resonanzfrequenz und/oder der Dämpfung bestimmbar sind.
9. Vorrichtung gemäß Anspruch 8, bei der ein Interdigitalwandler (12) gekoppelt ist, wobei die Dielektrizitätszahl und/oder die Leitfähigkeit des flüssigen Mediums auf der Basis der komplexen elektrischen Impedanz des Interdigitalwandlers (12) bestimmbar ist.
10. Vorrichtung gemäß Anspruch 9, bei der die Oszillatorfrequenz der zweiten Oszillatorschaltung sich von der Resonanzfrequenz der elektroakustischen Welle des Oberflächenwellensensors unterscheidet.
11. Vorrichtung gemäß Anspruch 8, bei der die erste Oszillatorschaltung eine Amplitudenregelungsvorrichtung aufweist, deren Regelsignal ein Maß für die Dämpfung der Oberflächenwelle ist, aus dem die Viskosität des flüssigen Mediums bestimmbar ist.

12. Verfahren zur Bestimmung des Alterungszustands eines flüssigen Mediums, insbesondere von Öl, ausgehend von einem Ausgangszustand mit folgenden Schritten:

- a) Erfassen zumindest eines Zustandsparameters des flüssigen Mediums während einer ersten Periode, in der das flüssige Medium den Ausgangszustand aufweist;
- b) Erfassen des zumindest einen Zustandsparameters des flüssigen Mediums während einer zweiten, zeitlich nachfolgenden Periode;
- c) Vergleichen der in den Schritten a) und b) erfaßten Zustandsparameter; und
- d) Ermitteln des Alterungszustands des flüssigen Mediums auf der Grundlage des im Schritt c) durchgeführten Vergleichs.

13. Verfahren gemäß Anspruch 12, bei dem in den Schritten a) und b) zusätzlich zu dem zumindest einen Zustandsparameter die Temperatur des flüssigen Mediums erfaßt wird.

14. Verfahren gemäß Anspruch 13, bei dem der zumindest eine Parameter in den Schritten a) und b) zu einem Zeitpunkt erfaßt wird, zu dem die erfaßten Temperaturen identisch sind.

15. Verfahren gemäß Anspruch 13, bei dem im Schritt a) und im Schritt b) der zumindest eine Zustandsparameter des flüssigen Mediums jeweils bei zumindest zwei unterschiedlichen Temperaturen erfaßt wird, um eine Temperaturabhängigkeit des Zustandsparameters während der ersten und der zweiten Periode zu ermitteln, wobei die beiden Temperaturabhängigkeiten im Schritt c) verglichen werden, und das Ergebnis des Vergleichs im Schritt d) zur Ermittlung des Alterungszustands des flüssigen Mediums berücksichtigt wird.

16. Sensoreinrichtung zur Erfassung von Materialparametern eines flüssigen Mediums, bestehend aus zwei Interdigitalwandlern (12, 14) zur Erzeugung einer elektroakustischen Welle von einem (12) der Interdigitalwandler zu dem anderen (14) der Interdigitalwandler, wobei die zwei Interdigitalwandler (12, 14) mit einer ersten Auswertungsschaltung zur Ermittlung der Viskosität, der Viskoelastizität und/oder der Dichte des flüssigen Mediums auf der Grundlage der ermittelten Resonanzfrequenz und/oder der Dämpfung der elektroakustischen Welle verschaltet sind, und wobei einer der Interdigitalwandler (12) mit einer zweiten Auswertungsschaltung zur Ermittlung der Dielektrizitätszahl und/oder der Leitfähigkeit des flüssigen Mediums auf der Grundlage der komplexen elektrischen Impedanz des Interdigitalwandlers (12) verschaltet ist.

17. Sensoreinrichtung gemäß Anspruch 16, bei der sich die Frequenz, die die zweite Auswertungsschaltung zur Ermittlung der komplexen elektrischen Impedanz verwendet, von der Resonanzfrequenz der elektroakustischen Welle unterscheidet.

18. Sensoreinrichtung gemäß Anspruch 16 oder 17, die ferner einen Temperatursensor zur Erfassung der Temperatur des flüssigen Mediums aufweist.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

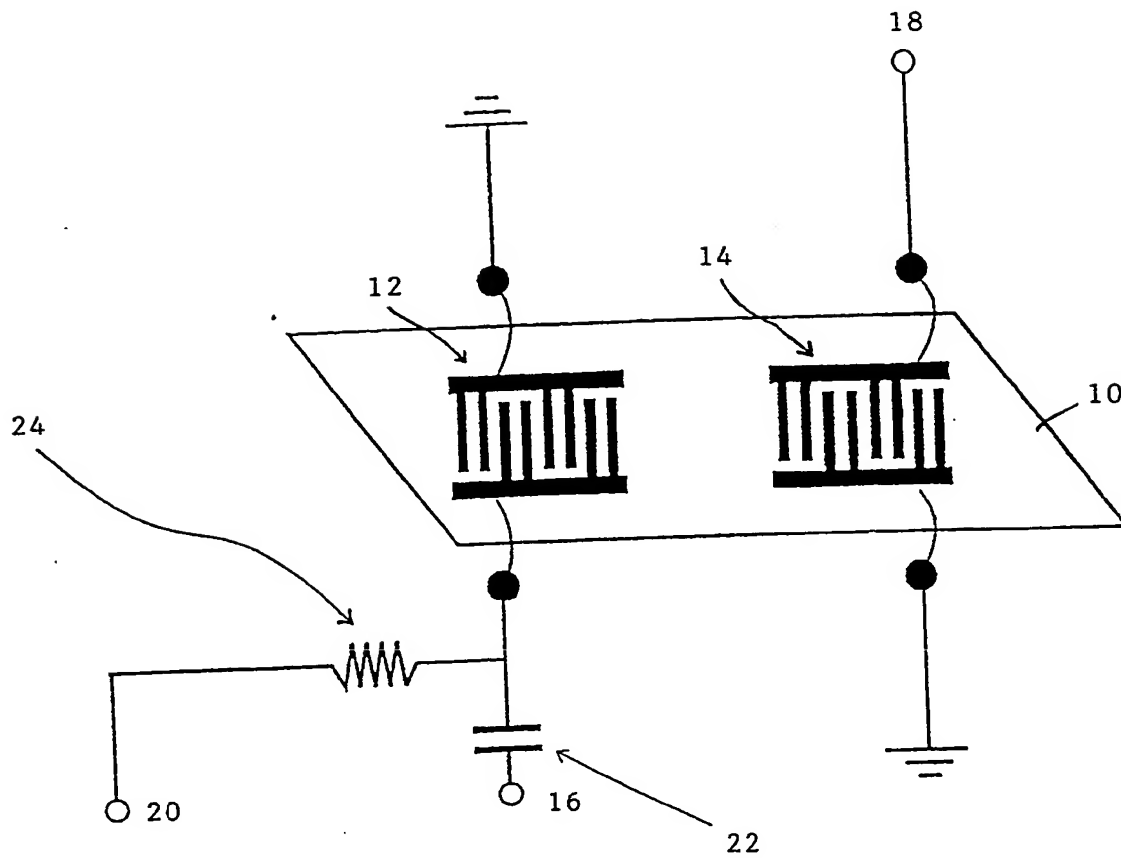


FIG. 1

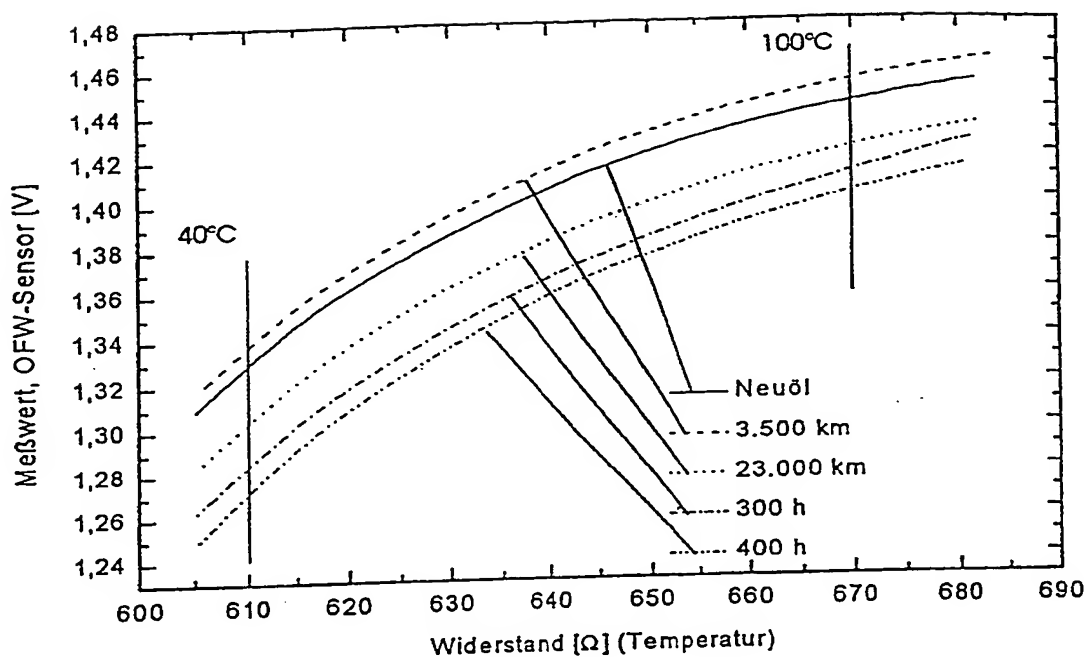


FIG. 2

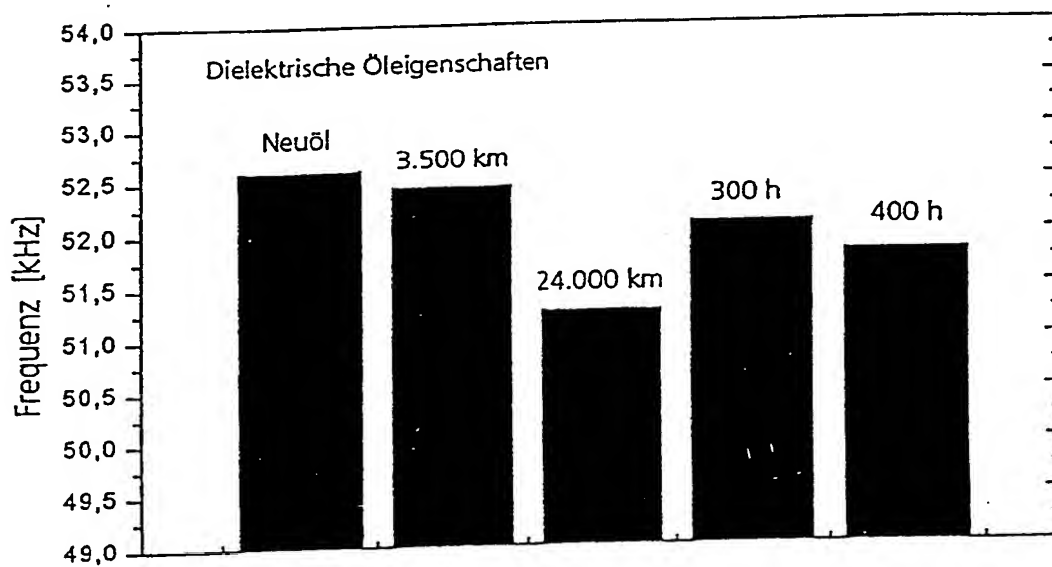


FIG. 3

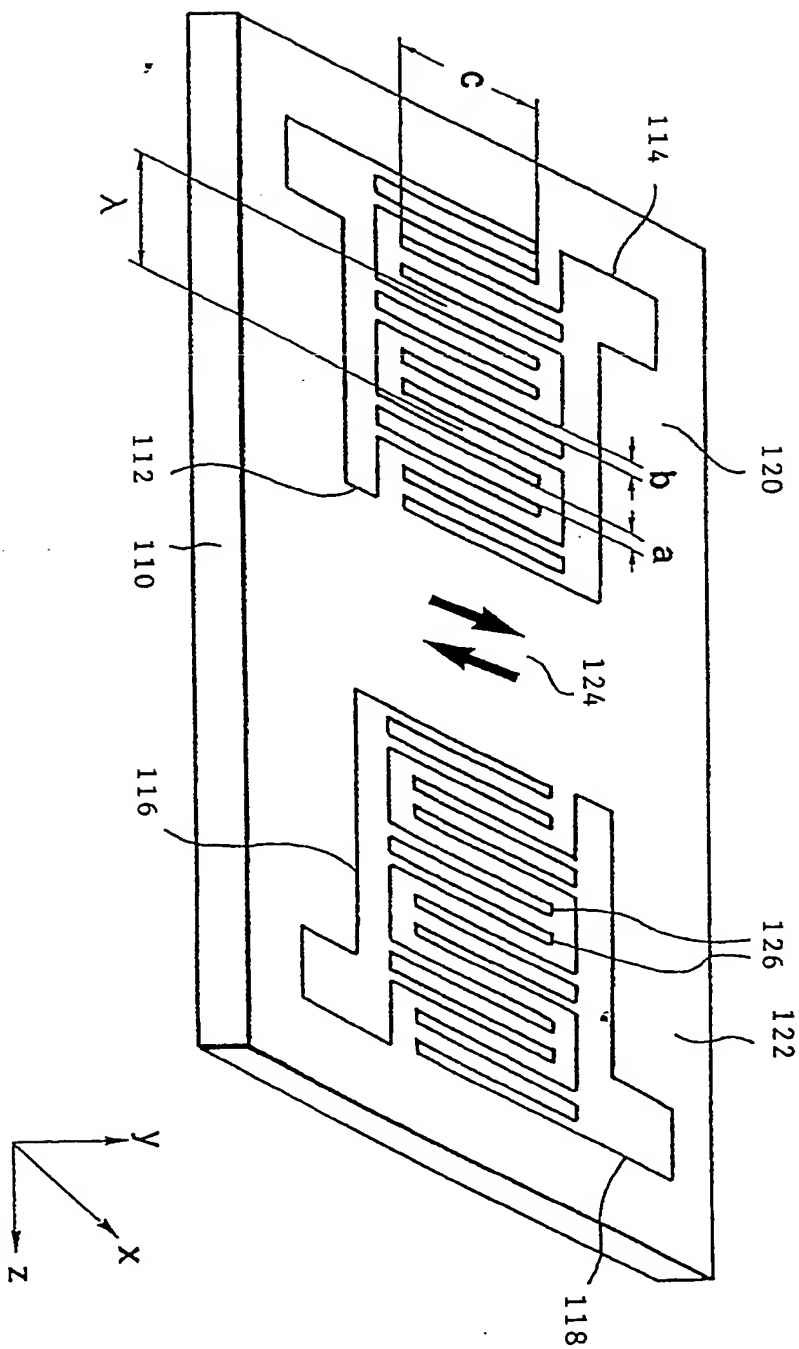


FIG. 4